

岩判定における切羽情報運用システムの適用

榎田 敦之¹・河原 幸弘²・鷲尾 寛²・永井泉治³

¹株式会社エイト日本技術開発 構造事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)
E-mail:enokida-a@ej-hds.co.jp

²正会員 株式会社エイト日本技術開発 構造事業部 (〒532-0034 大阪府大阪市淀川区野中北1-12-39)
kawahara-yu@ej-hds.co.jp, washio-sa@ej-hds.co.jp

³正会員 株式会社エイト日本技術開発 技術本部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3-1-21)
E-mail:nagai-se@ej-hds.co.jp,

山岳トンネルの岩判定は、トンネル掘削時の切羽面の観察を行い対象地山の強度や風化変質、割れ目の状態などから評価点をつけて蓄積された施工実績に基づき支保パターンの選定を行ってきたのが現状である。これまで、岩判定は、設計段階の支保変更点や地山が急変し補助工法が必要となる場合などに開催され、現場に常駐しなければ連続したトンネル地山の評価・判断が難しい状況であった。近年は、施工時データの自動化などから計測管理の効率化が進められてきた。

そのため本研究では、施工時に計測管理される情報について切羽情報運用システムを用いて共有化することにより、合理的かつ効果的な岩判定を行った結果について報告をするものである。

Key Words : tunnel face information, rock judgment, network system, support pattern, automation

1. はじめに

山岳トンネルの施工管理は、これまで人間が計測機器を用いて測量を行ってきたが、近年は、ほとんどの現場においてレーザー計測、トータルステーションによる自動観測による自動化・情報化に変化してきている。しかし、現場で取得された情報は、現場管理技術者や発注者に限定され情報開示される機会が少なく、現場で取得されたリアルタイムのデータにおいては、活用される機会が少ない。そのため、時間が経過してから計測後に開催される切羽判定会（岩判定という）や施工時計測データの報告書としてとりまとめられることが、多いのが現状である。トンネルの施工管理は、切羽の状態に応じた適切な支保選定を行うことと地山が急変した場合や、補助

工法が必要となる場合に如何にして早期に地山状況を的確に判断し、安全で安心な施工を行っていくのが望ましい。

そこで、本研究では、山岳トンネルの施工現場で計測される施工情報を発注者、施工業者、コンサルタントから成る岩判定委員会の関係者にネットワークシステムを用いて情報を共有化することにより、合理的かつ効果的な岩判定を行った結果について報告する。

図-1に本研究における日常管理ネットワークの概念図を示す。

2. トンネル計測計画

山岳トンネルで求められる計測工は、各種機関によって仕様がそれぞれ示されている。標準的には、国土交通省の仕様書を基本として、各機関が独自に仕様を決定している。例えば、NEXCO²⁾では、「計測工とは、トンネル工事による周辺地山の挙動、支保部材の効果、周辺構造物への影響を把握し、構造物としてのトンネルの安全性を確認することにより、工事の安全を確保するとともに、設計および施工の妥当性を評価し、経済性を確保するために行う観察・計測を総称するという。」と定義付

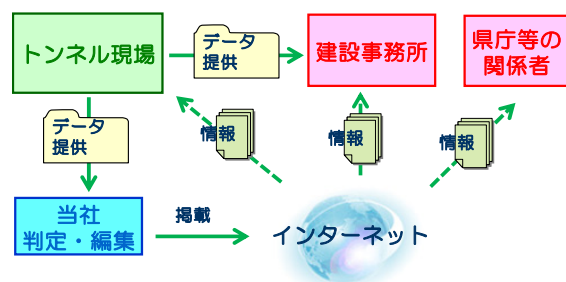


図-1 日常管理ネットワークの概念図

けられている。

このため、山岳トンネル工事の施工者は、この計測の目的を果たすため、現場にて、切羽観察、計測を日常的に実施し、計測結果の迅速な反映ができる体制を構築している。また、多くの山岳トンネルの施工現場では、計測工の計測が手動から自動計測機器の開発により、自動化がすすみ、データの蓄積、迅速な結果の判断ができるようになってきている。

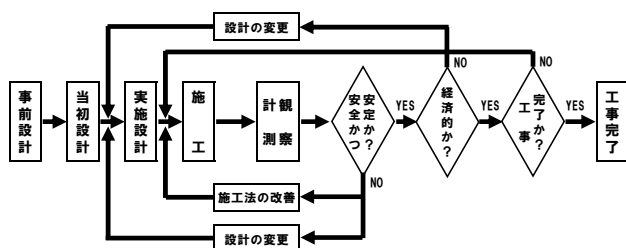


図-2 計測の位置付けと役割

ところが、トンネル施工前の事前調査段階では、精度の高い十分な事前調査が経済的理由および探査精度の課題から、事前設計と実施工とでは支保工選定において乖離が多くみられる。

このため、図-2に示すように施工段階に実際の地盤状況を観察しながら、掘削に伴う地山挙動や支保構造の効果などの状況を確認し、計測結果を見ながら、設計や施工法の妥当性を検証することが、これまでの岩判定委員会で行われている。

3. 山岳トンネルにおける情報化施工の現状

山岳トンネルにおける情報化施工の目的は ①品質の向上 ②作業の効率化（工期短縮）③コスト削減（経済性の追求）④作業の安全性確保 ⑤周辺環境の保全 ⑥施工技術の継承（人間の勘から客観的指標への転換）⑦工事関係者における技術の共有である。

山岳トンネルの施工においては、地山の状態・周辺環境への影響に関する観測を行って、これをリアルタイムに整理・解析・フィードバックし、設計変更および施工方法の変更を行うという流れが重要である。

具体的な情報化施工事例としては、(1) 測量技術、(2) 計測技術、(3) 安全管理、(4) 作業効率化、(5) ナビゲーション、(6) 情報の統合・共有、(7) 情報の公開などが挙げられる。特に、測量技術では、従来のトンネル内測量は、複数の作業員で数時間かかっていたが、現在では1人の作業員で、かつ、数分程度で計測完了できるようになってきた。さらに、作業員が不要となる無人測量（自動測量）も可能となり、施工中のリアルタイム測量管理ができるようになってきている。また、PCの普及によって

現場で得られる情報の電子化が進んでいる。しかし、この情報化の利用は、メール配信、帳票類の転送、インターネット情報の閲覧など、限られたものとなっている。

特に、トンネル切羽で取得された、逐次情報を事務所へ配信するなど、外部への情報発信については、ほとんど実施されていないのが現状である。

この原因としては、①トンネル技術は特殊技能を必要とするため、外部関係者が切羽判定に加わるメリットが少ない、②誤差を含む計測情報が出るのが危惧される、③要望が少ないなどの現状追認型と現場管理となっている。

しかし、多くの土木現場では、情報化施工により得られた情報を開示する動きが本格化している。これは、現場情報の電子化・ネットワーク化・リアルタイム化の進歩が急速に進み、また、明かり工事での情報公開が拡大していることが理由と考えられる。このような中で不特定多数の人々へむけて切羽における作業映像をインターネット上でライブ中継する現場も増えてきている。国民及び関係者に広く理解を得ることができるような環境が整ってきた。

トンネル工事における情報公開についても、情報を公開する技術はすでに確立しているが、現状としては普及までは至っていない。

4. 情報化施工の情報配信における開発仕様

トンネル情報化施工においては、現場で得られた情報を、速やかに関係者間（発注者、施工現場、施工支援コンサルタント）で情報共有することが重要である。また、得られた情報に基づく切羽の必要支保構造を速やかに決定し、連続的なトンネル工事を行う時間軸を考慮した施工が、経済的なトンネル構造物を構築する重要な要素となる。本研究では、インターネット上で、切羽や計測の情報を共有するためのシステムを開発する。また、情報共有のみならず、得られた情報を誰でも簡単に理解できるような自動作成される印刷形式の帳票の配信を実現することを開発目的とした。

1) 現場で得られる各種情報を、リアルタイムに配信できること

2) 現場の情報は、トンネルの施工と関連させて、整理された状態とすること

3) 配信された情報は、ネット上の情報共有サイトで、関係者が安全に閲覧できること

4) 配信された情報に対して、さらに追加情報を付加できること

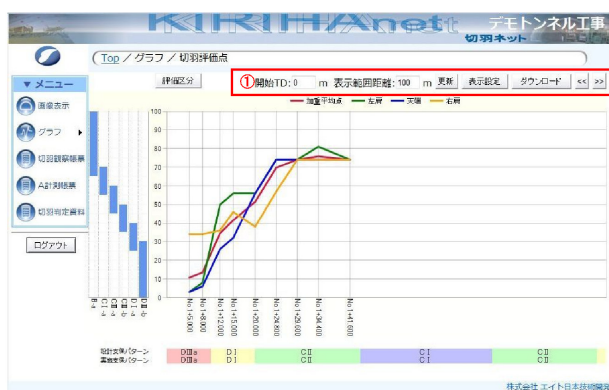
図-3に本研究で用いた切羽観察評価結果イメージ、図-4に切羽観察評価点推移グラフを示す。



現場からアップロードされた、サイクルの判定結果とスケッチを表示します。

サイクル No (①) を切り替えることが出来ます。

図-3 切羽観察評価結果イメージ



切羽評価点をグラフ形式で表示します。

グラフレンジの変更や項目の表示非表示の切り替えが可能です。(①)

図-4 切羽観察評価点推移グラフイメージ

5. 岩判定業務における適用

一般的にトンネル支保構造は、事前の地質調査結果に基づき設計されるが、最終的な支保構造は、施工中の切羽観察結果や計測結果に基づき決定されるものである。

施工時の支保パターンの設定にあたっては、地方自治体等においては、発注者、施工業者、施工支援コンサルタントから形成される岩判定委員会を開催し、設計時点の施工支保変更箇所および施工時の地山級変化箇所において切羽観察を実施し、合意形成のもと適切な支保工選定を行うものである。

しかし、前述のようにトンネル施工者による日常的な切羽観察は実施されるものの、日常観察記録については、情報共有されておらず、逐次、開催される切羽状況での評価となっており、連続したトンネルの地質状況の変化については、把握が困難な状況になっていた。そこで、岩判定業務において切羽情報の共有化として切羽情報運用システムを適用した事例を紹介する。

(1) 対象トンネルの概要

切羽情報運用システムを適用したトンネルの概要を以下に示す。

①トンネル延長：約700m

②地質概要：花崗斑岩

③地質的課題：起点側坑口部の湧水、断層破碎帯

事前設計では、トンネル全線にわたる弾性波探査と坑口部のボーリング調査結果に基づき、近傍箇所での施工実績を反映し、支保パターンの選定がされていた。トンネルの中央部では、土被りが100m程度あり調査精度が課題であった。岩判定箇所は、支保パターンの変化点にて約20回実施した。

(2) 日常管理データの情報共有

日常管理データの情報共有としては、施工業者が実施する切羽観察記録および計測データ、切羽写真などについて、共有データサーバを利用し、発注者、施工業者、施工支援コンサルタントが逐次、記録を閲覧出来るように情報共有を図った。

a) 日常管理

表-1 に示す施工業者から受理した切羽観察記録³⁾、⁴⁾ から書面判定を行い、逐次、切羽状況や切羽評価点の推移などについてインターネットで岩判定業務関係者が誰でも見えるようにする。

表-1 施工者における切羽観察記録例（日常管理）

トンネル名：〇〇トンネル			観察年月日：平成〇〇年〇〇月〇〇日		
測点Sta. 〇〇+	〇〇	坑口からの距離：〇〇 m	断面番号：No.	支保パターン：DI-a	
土被り高さ：〇〇 m	岩石名・地質時代：		岩石グループ (1~5)：2	岩石名コード：32	
補助工法（鋭吹き、ボルトを含む）の諸元		増し支保工の諸元		A, B計測 最も近い断面であればA, Bを記入	
無し		無し		無し	
			特殊条件・状態等 無し		
崩壊の有無、状況			水により風化作用がすすむ部分がある		
インバート早期閉合の有無			無し		

A. 圧縮強度 (N/mm ²)	観察項目	評 価 区 分						評価区分記入 左肩中央右肩
	一軸圧縮強度	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下	
	ポイントロード	4以上	4~2	2~1	1~0.4	0.4以下		
	ハンマーの打撃による強度の目安	岩片を地面に打ち打しても割れにくい。	岩片を地面に置きハンマーで打ち打すれば割れる。	岩片を手に持ってハンマーでたたき割ることができる。	岩片を握りしめてハンマーでたたき割ることができる。	両手で岩片を部分的にでも握ることができる。	力を込めれば、小さな岩片を握ることができる。	5 5 5
B. 風化変質	評価区分	1	2	3	4	5	6	
	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質	岩芯まで風化変質	土砂状風化、未固結土砂			
	熱水変質などの目安	実質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により岩芯まで強度低下	著しい変質により全体が土砂状、粘土化			
	評価区分	1	2	3	4	5	6	
C. 割目開隙	割れ目の開隙	d ≥ 1mm	1mm > d ≥ 50cm	50cm > d ≥ 30cm	30cm > d ≥ 5cm	5cm > d	20以下	
	R Q D	80以上	80~50	60~30	40~10	10以下		
	評価区分	1	2	3	4	5	6	
	割目の開口度	割目は密着している	割目の一部が開口している (幅 < 1mm)	割目の多くが開口している (幅 < 1mm)	割目が開口している (幅 1~5mm)	割目が開口している (幅 5mm以上)	割目が開口している (幅 5mm以上)	
D. 割目状況	割目の挟み物	なし	なし	なし	薄い粘土を挟む (5mm以下)	厚い粘土を挟む (5mm以上)		
	割目の粗度	粗い	割目が平滑	一部に鏡肌				
	鏡肌							
	評価区分	1	2	3	4	5	6	
E. 走向傾斜	走向がトンネル軸と直角	1: 差し目 傾斜45~90°	2: 差し目 傾斜20~45°	3: 差し目流れ目 傾斜0~20°	4: 流れ目 傾斜20~45°	5: 流れ目 傾斜45~90°		
	トンネル軸と平行			1: 傾斜0~20°	2: 傾斜20~45°	3: 傾斜45~90°		

b) 関係者への周知

上記の日常管理資料を分かり易く編集し、インターネットに掲載するデータとして、掘削後の地山分類や直近の内空変位状況等を整理して掲載する。図-5 に示すようにインターネットへのアクセスは、ID番号等を決め

て関係者のみがアクセスできるシステムにした。

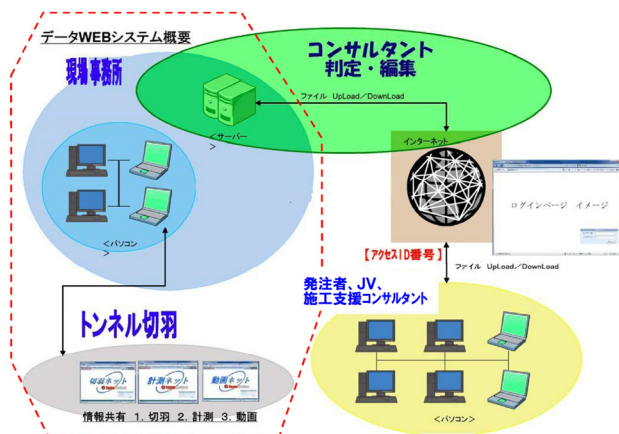


図-5 ネットワーク管理イメージ

6. 設計支保と施工支保の分析

(1) 事前設計における課題

山岳トンネルにおける設計では、設計の前提となる地形・地質調査資料の精度が十分高いものが要求されるが、トンネル掘削前に計画トンネルの全延長にわたって設計を確定できるような高精度の地質調査は、現在の技術および調査の期間や経済性を考慮すると困難である。

また、掘削に伴いトンネルに作用する土圧は複雑で、地山条件に応じて概念的にしか解明できず、支保構造部材の設計法も確立していないために、一般に特殊条件でない限りは地山分類基準に基づいた設計を行っている。

このような背景から、トンネルが他の土木構造物より事前調査・事前設計と施工との違いが大きいと言われていいる。このことを認識しつつ、設計と施工の乖離の縮小に努める必要がある。

(2) 設計支保と施工支保の相違

施工時においては、事前調査時に検出されていた低速度帯が確認されず、中央部では良好な硬岩地山が出現し続けたため、CⅠパターンを継続的に施工した。しかしながら、後半部では亀裂が発達した地山が連続的に出現したため、トンネル構造的確保や施工性向上を目的に鋼製支保工有りのCⅡパターンを多く施工した（図-6、図-7参照）。

掘削対象地質にも異なるが、本トンネルの場合には、全体的に坑口区間や土被りが薄い区間については、地山の変化が著しく、ある程度の土被りが確保される場合には、大きな断層破碎帯がなければ比較的連続した支保工の採用が可能な地山であることが分かる。

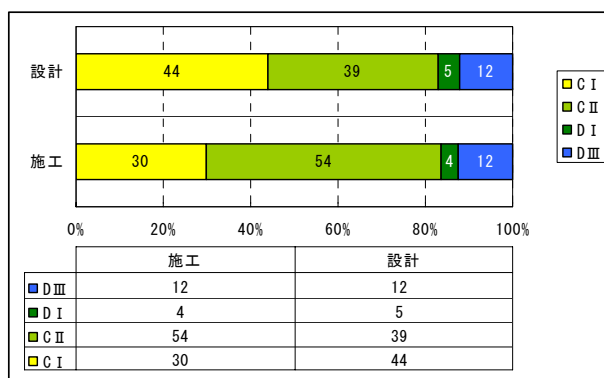


図-7 設計支保と施工支保の延長の割合

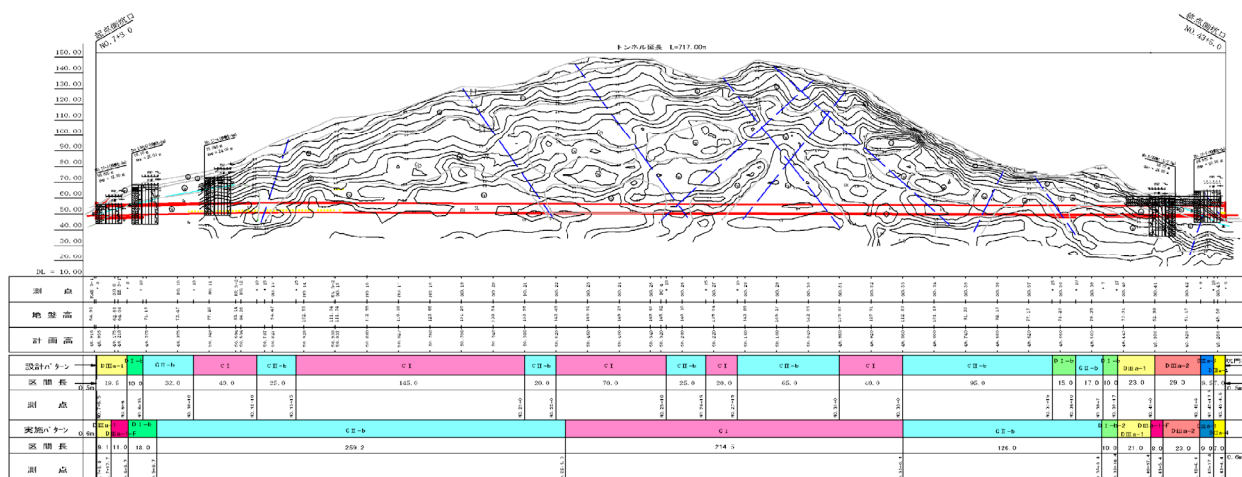


図-6 設計支保と施工支保の対比

一方、日本の地形・地質は、プレート運動の影響を強く受けており、かつ地震や火山活動も活発なため、地形は起伏の変化が激しく、地質は一見、モザイク模様をなし非常に複雑なものとなっている。

	設計	施工	差
CⅠ	44	30	-14
CⅡ	39	54	+15
DⅠ	5	4	-1
DⅢ	12	12	0

7. 切羽情報運用システムの有効性

(1) 従来の計測管理の課題

従来、坑内変位計測などは、測定機器を坑内に持ち込み手動計測を行い、そのデータを事務所に持ち帰ってから、計算処理をおこなって、グラフ等の出力帳票を作成している。この場合、以下の問題点がある。

- ①計測のタイミングが掘削作業サイクルの中で、現実的に限られてしまう。
- ②計測データをリアルタイムに評価できない。
- ③計測データを第三者が評価するまでに数日後になるケースが多い。

(2) 切羽情報運用システムの有効性

上記の問題を解決するために、ネットワークシステムを用いて施工業者が実施してきた切羽観察記録を簡易にとりまとめることによって、リアルタイムで情報共有が可能となった。以下に、切羽情報運用システムの有効性を示す。

a) リアルタイムでの地山状況の把握

これまで施工業者のみ切羽状況および連続的な地山状況の変化について把握できていたが、今回の切羽情報共有システムを活用することで遠方にいても、まるで現場にいるかのように切羽状況が確認でき、急激な地山の変化についても適切な評価および判断が可能となった。

b) 日常管理表作成による成果作成の簡略化

これまで岩判定の成果作成については、施工業者の切羽観察記録も含めて資料としてとりまとめる場合が多く膨大な資料整理に時間がかかっていた。今回の施工業者から日常管理データを整理して日常管理表を作成することによって、岩判定業務の成果品作成の簡略化がはかれる。

c) 三者間での状況認識の共有

切羽情報運用システムによって情報の共有化がはかれ岩判定委員会においても連続した地山状況の変化を認識できスムーズな合意形成をはかることができた。

8. おわりに

山岳トンネルにおける情報化技術の内、すでに実用化されている、計測管理のデータを、現場の情報のみとしていたものから、今回の研究開発では、施工関係者、発注者、管理を行う建設コンサルタントや、外部の第三者を含め、閲覧権限を有するだれでもが理解できる帳票形式の情報として、配信を実現するシステム構築ができた。

(1) 実現できたシステム内容

- ① 現場で得られた各種情報をリアルタイムで配信できるシステム構築
- ② 配信情報はデータ形式でなく、帳票形式とし、自動で帳票を作成するシステム構築
- ③ 配信された情報をネットの情報共有サイトで関係者が安全に閲覧できるシステム構築
- ④ 配信された情報をネット上から情報の加工や、資料の追加を行えるシステム構築

(2) 今後の課題内容

今回の岩判定における切羽情報運用システムの適用において実際に活用した発注者、施工業者にヒアリングを行ったところ以下の課題が挙げられた。

- ①切羽写真が暗く見づらいため、写真撮影の際は、照明を明るくするなどの工夫が必要である。
- ②モニター上での切羽写真が小さいため、画像をクリックして大きくなると良い。
- ③湧水箇所が分かりづらいため、明確に湧水箇所が分かるようになると良い。

今後、上記内容について改善し、よりよいシステム構築に反映していきたいと考えている。

謝辞：本報告をとりまとめるにあたり、ご協力いただきました発注者、施工業者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，2003。
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領（計測工編）2012.7。
- 3) 赤木，三谷，城間：新切羽評価点法の適用に関する研究土木学会第54回年次講演会
- 4) 赤木，伊藤，国村，進士：新切羽観察手法と変位との関係土木学会第56回年次講演会

(2013.9.2 受付)

APPLICATION OF THE TUNNEL FACE INFORMATION USE SYSTEM IN THE ROCK JUDGMENT

Atsuyuki ENOKIDA, Yukihiro KAWAHARA, Satoshi WASHIO and Senji NAGAI

It was the present conditions that the rock judgment of the mountains tunnel observed the face surface at the time of the tunnel digging, and chose the support pattern, and when a support change and the natural hill for the design stage took a sudden turn, the rock judgment was carried out, and an evaluation, the judgment of the natural hill was the situation that it was difficult until now if not stationed in the spot.

Therefore, in this study, I report the result that judged a rational and effective rock by communalizing it using a face information use system about information measured at the time of construction.